

リモートセンサの偏角による応答特性とそのモジュール開発

2W-5

○小西一也、星 仰（茨城大学）

1 はじめに

リモートセンシングにより観測される地表面のデータには地表面で反射される電磁波が含まれており、その強度から地表面の反射率を推定することが考えられる。しかし、センサに入射する電磁波は大気による散乱や吸収を受けているほか、地表を覆う建物や植生にも影響されている。また、観測に用いられる衛星には、その軌道の直下位置を観測するもの他にセンサの向きを変化させて目標位置を観測するものもある。この場合、センサにより受信される応答について、地表面の反射特性や傾斜などを考慮して補正する必要がある。しかし、ある一つの法則で反射を表すことは非常に困難であり、センサ入力から正確な地表面の反射率を求めることができず、それは誤分類の要因ともなっている。これらの問題を解決するステップとして、地形効果を考慮した簡易地表面反射モデルを研究したが[1]、モデルの適用が非常に限られた条件でのみ有効であるなど、改良すべき課題も多く残された。

本研究では、それらの課題を解決してできるだけ忠実な地表面の反射率を求めることを目的とし、地表面反射の数学的モデル化とリモートセンサの偏角による応答特性を考察し、そのモジュール開発を行う。

2 双方向性反射率関数

リモートセンシングにより地表面で反射される光量の放射量を計測する場合、その反射特性に関する情報が必要とされる。Fig.1でこの特性を幾何学的に示す。目標となる地表面が光束密度 F_0 の放射の平行光に照らされる場合を考える。角度 θ_0 で水平な地表面上に入射する光束 F_0 に対して、その地表面における放射照度は $F_0 \cos \theta_0$ となる。この放射が $\vec{\xi}$ 方向に沿った立体角 $d\Omega$ で反射する。反射した放射の明度を $I(\vec{\xi})$ とすると、

$$R(\vec{\xi}, \vec{\xi}_0) = \pi I(\vec{\xi}) / F_0 \cos \theta_0 \quad (1)$$

により地表面反射率関数が定義される。これは入射および反射の2方向に依存することから、双方向性反射率分布関数 (Bidirectional Reflection Function, BRDF) と呼ばれる。この関数は衛星放射輝度データの解析において特に重要なパラメータである。衛星放射輝度データから光束量を得るためには、全ての衛星観測角 $\vec{\xi}$ および太陽の入射角 $\vec{\xi}_0$ の組に対する $R(\vec{\xi}, \vec{\xi}_0)$ が既知である必要がある。

The response character depending on declination of the remote sensor and the module development
Kazuya Konishi and Takashi Hoshi
Ibaraki University F.O.E.
4-12-1 Nakanarusawa, Hitachi, Ibaraki, Japan, 316

地球放射量収支実験 (Earth Radiation Budget Experiment, ERBE) において、異なるシーンの異なる地表面に対する $R(\vec{\xi}, \vec{\xi}_0)$ がモデル化されている。Fig.2に海表面におけるBRDFを示す[2]。太陽の天頂角を固定し、 $\vec{\xi}_0$ と天頂方向ベクトルのなす平面からの $\vec{\xi}$ の方位角のずれを ϕ_r としたとき、8つの ϕ_r において視野角 θ に対するBRDFの値を示している。

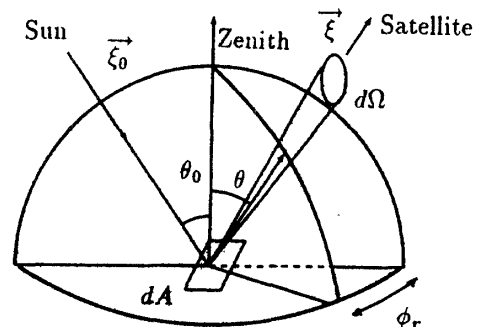


Fig.1 Radiation of flux density F_0 . θ_0 : Incident angle, dA : Area element, $d\Omega$: Solid angle, $\vec{\xi}$: Sensor direction (θ : Zenith angle, ϕ_r : Azimuth angle).

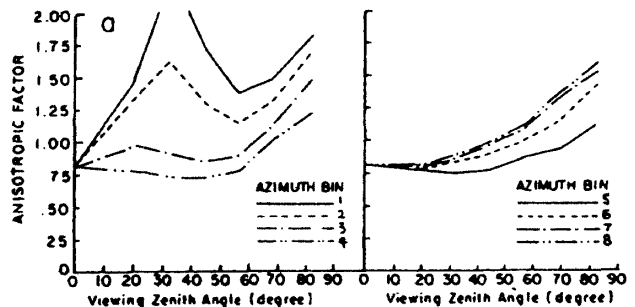


Fig.2 The BRDF model of an ocean scene as a function of viewing zenith angle for solar zenith angles between 25.84 and 36.87 degrees for eight azimuth angle bins. bin (1) $0 < \phi_r < 9$, (2) $9 < \phi_r < 30$, (3) $30 < \phi_r < 60$, (4) $60 < \phi_r < 90$, (5) $90 < \phi_r < 120$, (6) $120 < \phi_r < 150$, (7) $150 < \phi_r < 171$, (8) $171 < \phi_r < 180$.

3 反射モデル

反射光は大きめに、拡散反射光および鏡面反射光に分けられる。拡散反射物体はあらゆる方向に光を反射し、どの角度からその表面を見ても同じ明るさで見えるという特徴がある。このような表面の輝度は Lambert の余弦則によりモデル化できる。表面の輝度を I_d 、平行光源の光の強度を I_p 、入射角を θ_0 、面の単位法線ベクトルを \vec{N} 、光源方向への単位ベクトルを $\vec{\xi}_0$ 、拡散反射係数を k_d とするとき、Lambert の余弦則は

$$I_d = k_d I_p \cos \theta_0 = k_d I_p (\vec{\xi}_0 \cdot \vec{N}) \quad (2)$$

の関係を示す。

また、拡散反射光にはこのような光源からの直接光による反射成分の他に、周囲の物体による間接光(相互反射光)が存在する。この成分についてはラジオシティ法などが研究されているが、ここでは簡単のために一定の環境光を加えることを考える。環境光の強度を I_a とすると、この成分を含めた拡散反射光による表面輝度 $I_d + I_{ad}$ は、

$$I_d + I_{ad} = k_d I_p (\vec{\xi}_0 \cdot \vec{N}) + k_d I_a \quad (3)$$

によりモデル化される。

完全鏡面反射物体の表面において、光は正反射方向にのみ反射するという特性をもつ。しかし、鏡面反射および拡散反射の両者の特性を持つ一般の物体の表面では、鏡面反射成分は正反射方向の周囲に広がりを持つ。リモートセンサの偏角により、応答はこの成分の影響を受ける。ここでは Phong のモデルが適用される。入射光を I_p 、光線の正反射方向とセンサ方向の成す角を α 、光線の正反射方向の単位ベクトルを $\vec{\xi}^r$ 、センサ方向の単位ベクトルを $\vec{\xi}$ 、 $\vec{V} = -\vec{\xi}$ 、鏡面反射係数を k_s とするとき、Phong のモデルは

$$I_s = k_s I_p \cos^n \alpha = k_s I_p (\vec{\xi}^r \cdot \vec{V})^n \quad (4)$$

の関係を示す。 n が大きくなるほどハイライトの広がり小さくシャープになる。

以上より、リモートセンサの偏角による応答特性は拡散反射および鏡面反射を考慮した物体の表面輝度 $I(\vec{\xi})$ として、次式のようにモデル化することができる。

$$I(\vec{\xi}) = I_d + I_{ad} + I_s \quad (5)$$

4 応答特性モジュール

前節で説明した地表面反射の数学的モデルは、太陽光の入射方向 $\vec{\xi}_0$ およびターゲットとなる地表面から見たリモートセンサの方向 $\vec{\xi}$ の他に、その地表面における拡散反射係数 k_d 、鏡面反射係数 k_s 、鏡面反射のハイライト因子 n および環境光強度 I_a が引数として必要となる。そこで、様々な地表面における BDRF のモデルを基に、各地表面におけるこれらのファクタを定義してリモートセンサの偏角による応答特性モジュールを開発することを考える。

ターゲットとなる地表面から反射される輝度を反射球根として図式的に示すことを考えると、式(3)より拡散反射成分はターゲットを中心とした半円を描き、式(4)より鏡面反射成分はターゲットを端とする楕円を描くことがわかる。ここで、BDRF のモデルより得られた反射球根(以降 BDRF 球根)にできるだけ近似するような数学的反射モデルのファクタを、以下の手法により決定する。

1. BDRF 球根において、最小の値を基に拡散反射係数を決定する。

2. BDRF 球根の入射の正反射方向における値と拡散反射係数の関係より、鏡面反射係数を決定する。
3. ハイライト因子を BDRF 球根に最も近い値となるまで、1 からインクリメントする。
4. 環境光強度を調整をして BDRF 球根に近づける。

海表面における BDRF 球根(実線)と、この手法により得られた数学的反射モデルによる反射球根(破線)を Fig.3 に示す。

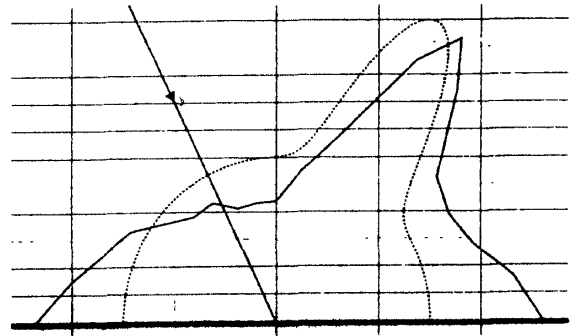


Fig.3 The reflection bulb on an ocean. The solid line express it by the BDRF, and the broken line by the mathematical reflection model.

この数学的反射モデルに使用されたファクタは、 $k_d = 0.22$ 、 $k_s = 0.33$ 、 $n = 38$ 、 $I_a = 0.5$ である。両者の球根は、特に特徴的な形を示している付近で近似されている。BDRF 球根では、地(水)平線付近において反射率が增加するという海表面の特徴(limb brightening)が見られるが、数学的反射モデルではこれを表すことはできていない。しかし、リモートセンサの偏角による応答特性を考える場合は天頂角 0 度付近の反射輝度が重要となるので、この数学的反射モデルは有効であると考えられる。

5 おわりに

本研究では、BDRF 球根を用いて数学的反射モデルを作成して様々な地表面における近似反射率を求める、リモートセンサの偏角による応答特性モジュールを開発した。これにより、センサ応答から地表面の反射率を得ることが可能となった。今後の課題としては ERBE BDRF データの評価、ターゲットとなる地表面の周囲の物体による影響、すなわち環境光についてのさらに緻密な数学的反射モデルの考察、そして光が大気により受ける影響の補正の付加などにより、さらに緻密な反射率を求められるモジュールの開発が挙げられる。

参考文献

- [1] 小西、星「地形効果を考慮した地表面の反射モデル」日本リモートセンシング学会第 21 回学術講演会論文集、pp.123-124,1996
- [2] Grame L. Stephens「Remote Sensing of the Lower Atmosphere—An Introduction—」OXFORD UNIVERSITY PRESS、pp.177-180,1994